

мически наиболее предпочтительны, так как не требуют даже временного вывода электрооборудования из эксплуатации.

Наиболее удачным методом является использование *программно-аппаратного комплекса*, состоящего из компьютера и цифрового устройства, производящего необходимые измерения и передающего их в компьютер. В качестве измеряемых электрических величин могут быть ток обмоток, потребляемая мощность и т. д. Компьютерная программа должна обработать входную информацию и определить наиболее вероятный вид повреждения или сделать заключение об его исправности. Этот метод наиболее эффективен, так как позволяет хранить на компьютере большие базы данных с информацией об отслеживаемой динамике повреждений электродвигателя с последующим прогнозированием выхода его из строя.

Кроме того, компьютер является более мощным средством обработки информации, чем микроконтроллер, что позволяет использовать современные технологии, в том числе и технологии искусственных нейронных сетей (ИНС), нечеткой логики и экспертных систем.

Нейронные сети дают возможность эффективно определять причину и виды повреждения асинхронных двигателей, работать с зашумленными данными, избавляя от необходимости применения промежуточных электронных фильтров от помех или фильтрации математическими методами, а также адаптироваться к конкретному типу электродвигателя.

При обучении нейронной сети на выходе используется определенное значение, соответствующее конкретному виду неисправности электродвигателя, и эталонные экспериментальные значения.

Производится проверка соответствия значения Y на выходе ИНС значению $Y_{\text{эт}}$, которое задавалось при обучении. Если $Y = Y_{\text{эт}}$, то это означает, что в электродвигателе на 100 % имеется неисправность, для которой обучалась данная нейронная сеть. В качестве обнаруженной неисправности выбирается та, степень соответствия которой наибольшая. По степени соответствия для других неисправностей электродвигателя можно судить о вероятности их присутствия.

Таким образом, в результате исследования установлено, что реализованные ИНС позволяют определять некоторые неисправности асинхронного двигателя, и это заблаговременно даст возможность предотвратить возможные текущие сбои и снизить количество unplanned ремонтов и отказов указанного оборудования.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА

Е. В. Буенок

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель Д. Н. Шевченко

Внедрение высокоскоростного движения является очередным этапом развития железнодорожного транспорта. Высокоскоростной транспорт позволяет преодолевать расстояния за короткое время, что способствует как повышению качества жизни населения (пассажироперевозки), так и ускорению темпов экономического роста страны (в том числе за счет грузоперевозок).

Скорость движения поездов во многом зависит от инфраструктуры железной дороги. Внедрению высокоскоростного железнодорожного движения препятствует ряд проблем:

- эксплуатируемое на сегодняшний день в Республике Беларусь железнодорожное полотно (профиль продольный и поперечный) не позволяет развивать скорость больше 140 км/ч;

- становится невозможным или нецелесообразным использование некоторых классических для железной дороги способов интервального регулирования движения поездов (ИРДП), а также систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ).

Например, при использовании автоблокировки длина рельсовых цепей должна быть не менее длины тормозного пути поезда. На больших скоростях это расстояние будет увеличиваться, а значит, точность позиционирования поезда значительно снижается. Это отразится на снижении пропускной способности участка.

Технические уменьшения средства СЖАТ на высокоскоростной линии должны создаваться с учетом требований к устройствам пути, электроснабжения и тяговой сети, средствам связи, подвижному составу, специфике конкретного участка, а также других требований, связанных с организацией и обеспечением безопасности движения поездов.

Таким образом, требуется разработка новых подходов (алгоритмов) и проектов инфраструктуры для повышения пропускной способности, которые были бы применимы для высокоскоростного транспорта, но при этом удовлетворяли условиям безопасности.

Каждый способ ИРДП должен исследоваться на пропускную способность и проверяться на соответствие условиям безопасности. Исследование различных способов ИРДП в реальных условиях затруднено (дорого, требует длительного времени, связано с возможными рисками). Поэтому основным подходом исследования может быть компьютерное имитационное моделирование.

Одним из эффективных средств автоматизации имитационного моделирования является программный пакет AnyLogic. AnyLogic – это современная среда разработки и исследования имитационных моделей, реализующая широкий спектр подходов моделирования, имеющая русскоязычный графический интерфейс, контекстную справочную систему, позволяющая расширять функциональность базовых компонентов с помощью языка программирования Java.

Графический интерфейс AnyLogic, инструменты и библиотеки позволяют быстро создавать модели для решения широкого спектра задач – от моделирования производства, логистики, бизнес-процессов до стратегических моделей развития компании и рынков [1]. К тому же в этой среде моделирования есть железнодорожная библиотека компонентов, с помощью которой можно моделировать железнодорожные узлы, работу станций, движение поездов и т. д. Также модели обладают средствами 2D/3D-симуляции.

Главной задачей работы является создание новых эффективных алгоритмов высокоскоростного движения поездов, обеспечивающих максимальную пропускную способность участка и выполнение условий безопасности движения. Существующие СЖАТ и способы ИРДП неприменимы для высокоскоростного транспорта, так как эти подходы требуют изменения длин блок-участков, рассчитываемых из технической скорости, существующих временных зависимостей и т. д. Для организации высокоскоростного движения целесообразно использовать системы непрерывного контроля перевозочного процесса (местоположение поезда, вычисление расстояния между поездами, сопоставление данных о маршруте с техническими характеристиками поездов).

Для увеличения пропускной способности участка дороги нужно минимизировать межпоездной интервал. Рассмотрим несколько вариантов организации интервала, которые необходимо промоделировать:

1) межпоездной интервал равен длине тормозного пути данного поезда (около 6,7 км, что определяется скоростью данного поезда) плюс длина рельсовой цепи (около 1 км, определяет точность позиционирования предыдущего поезда); информация о скорости предыдущего поезда отсутствует (предполагается, что он стоит);

2) интервал равен длине тормозного пути данного поезда (около 6,7 км, что определяется скоростью данного поезда) плюс незначительная погрешность позиционирования предыдущего поезда современными СЖАТ (около 10 м); информация о скорости предыдущего поезда отсутствует (предполагается, что он стоит);

3) интервал равен длине пути аварийного торможения данного поезда (порядка 1,89 км, что определяется скоростью данного поезда) плюс незначительная погрешность позиционирования предыдущего поезда современными СЖАТ (около 10 м) минус длина тормозного пути идущего впереди поезда (имеется информация о скорости предыдущего поезда, подразумевается, что идущий впереди поезд не может остановиться мгновенно). Дополнительно следует учесть временную задержку (3 с) на передачу информации о положении и скорости идущего впереди поезда;

4) интервал равен длине пути аварийного торможения данного поезда до безопасной скорости 20 км/ч (около 1,88 км, определяется скоростью данного поезда) плюс незначительная погрешность позиционирования идущего впереди поезда современными СЖАТ (около 10 м) минус длина тормозного пути предыдущего поезда (имеется информация о скорости впереди идущего поезда, подразумевается соударение на безопасной скорости). Также учитывается временная задержка (3 с) на передачу данных.

В рамках данного исследования для прямолинейного участка пути длиной 100 км, максимальной скорости 350 км/ч, штатного ускорения разгона (торможения) $0,7 \text{ м/с}^2$, ускорения аварийного торможения $3,4 \text{ м/с}^2$ для впереди идущего поезда и $2,5 \text{ м/с}^2$ – для данного поезда реализуются имитационные модели существующих подходов ИРДП (полуавтоматическая блокировка (ПАБ) и двухзначная автоблокировка (АБ)), а также модели, отображающие пропускную способность участка при вышеперечисленных межпоездных интервалах.

При АБ участок разделяется на 14 блок-участков, следовательно, на участке можно разместить 14 поездов; пропускная способность участка при этом – 35 поездов за 1 ч модельного времени.

При ПАБ на одном участке (перегоне) может находиться только один поезд; пропускная способность участка при этом – 3 поезда за 1 ч модельного времени [2], [3].

При моделировании движения в идеальных условиях (см. таблицу) получили следующие результаты (за 1 ч модельного времени).

Результаты при моделировании движения в идеальных условиях

Вариант ИРДП	1	2	3	4	АБ	ПАБ
Межпоездной интервал, м	7751,5	6761,5	802,1	795,9	7142,8	100000
Межпоездной интервал, с	79,73	69,55	8,25	8,2	73,5	1028,6
Количество поездов, проследовавших весь участок за час	32	37	306	308	35	3
Количество поездов, одновременно двигающихся на участке	14	15	131	132	14	1

В процессе моделирования возникли некоторые проблемы, связанные с особенностями среды имитационного моделирования AnyLogic. TrainMoveTo – единственный базовый блок AnyLogic, который управляет движением поезда. Во время моделируемого движения поезда можно изменять его скорость или заставить его ускоряться (тормозить) путем специальных функций поезда. Блок TrainMoveTo имеет ряд параметров, позволяющих задать действия, которые будут выполняться по мере движения поезда: при въезде на путь, при выезде с пути, при приближении к стрелке, при выезде с железнодорожного узла и т. д. При этом внутри блока нельзя управлять движением поезда по прямолинейному участку, но можно вызывать эти функции вне блока, например, дополнительными кнопками или во время входа (выхода) в другой блок.

Другой проблемой стало то, что поезд можно затормозить до некоторой скорости, но нельзя остановить полностью посередине участка. Полная остановка задается в блоке параметрами «Цель движения» и «При окончании движения» с вариантами «Остановиться с текущей скоростью», «Затормозить и остановиться» и «Тормозить, если выполняется условие».

Если задать движение с помощью нескольких блоков TrainMoveTo, и в каждом из них указать условие, при котором нужно затормозить, проверка этого условия будет происходить при входе в блок. Поэтому, если при входе в блок условие выполняется, но в процессе движения ситуация изменилась, то поезд все равно остановится.

Имитационное моделирование позволяет с малыми затратами (временными, финансовыми и т. д.) «увидеть» тот или иной процесс в динамике и сделать вывод об эффективности и целесообразности его использования в реальной жизни.

В результате исследования, анализируя пропускную способность участка, можно сделать вывод, что классические способы ИРДП (ПАБ и АБ) неприменимы для высокоскоростного транспорта, поэтому необходимо использовать другие способы ИРДП и иные СЖАТ, которые непрерывно контролируют перевозочный процесс: средства позиционирования поездов (GPS, RFID-метки, одометры, оптоволоконные системы и т. д.), технологии передачи информации между поездами и центром управления, а также системы, которые будут обрабатывать поступающую от поездов информацию и составлять оптимальный график движения.

Литература

1. Куприяшкин, А. Г. Основы моделирования систем : учеб. пособие / А. Г. Куприяшкин ; Норил. индустр. ин-т. – Норильск : НИИ, 2015. – 135 с.
2. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. А. Кравцов [и др.] ; под ред. Ю. А. Кравцова. – М. : Транспорт, 1996. – 400 с.
3. Виноградова, В. Ю. Перегонные системы автоматики / В. Ю. Виноградова. – М. : Маршрут, 2005. – 292 с.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКНА

Я. М. Олизарович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. С. Богданова

Полимерные волокна применяются во многих сферах. Для улучшения свойств необходимо изучать и дорабатывать получившееся волокно. Однако измерение па-